



GUSTAVO DO NASCIMENTO GONÇALVES

**BIOMONITORAMENTO AQUÁTICO NO BRASIL:
DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E GEOGRÁFICA E OS
PRINCIPAIS BIO-INDICADORES UTILIZADOS**

**LAVRAS-MG
2021**

GUSTAVO DO NASCIMENTO GONÇALVES

**BIOMONITORAMENTO AQUÁTICO NO BRASIL: DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E
GEOGRÁFICA E OS PRINCIPAIS BIO-INDICADORES UTILIZADOS.**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Paulo dos Santos Pompeu
Orientador

**LAVRAS-MG
2021**

GUSTAVO DO NASCIMENTO GONÇALVES

BIOMONITORAMENTO AQUÁTICO NO BRASIL: DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E GEOGRÁFICA E OS PRINCIPAIS BIO-INDICADORES UTILIZADOS.

AQUATIC BIOMONITORING IN BRAZIL: TEMPORAL AND GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION AND THE MAIN BIO-INDICATORS USED.

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 7 de ABRIL de 2021.

Prof.^a Dra. Camila Silva Franco
Dra. Débora Carvalho

Prof. Dr. Paulo dos Santos Pompeu
Orientador

**LAVRAS-MG
2021**

RESUMO

Devido ao grande avanço da poluição e degradação ambiental, novas técnicas de análise e monitoramento para ambientes aquáticos tem sido desenvolvidas e utilizadas, como por exemplo o biomonitoramento. Técnica que consiste em avaliar a saúde dos ecossistemas presentes utilizando das respostas dos organismos vivos, sejam elas positivas ou negativas e geralmente para ações antropogênicas, como parâmetro para avaliar o estado de conservação daquele ambiente. Objetivou-se principalmente avaliar, através da revisão em literatura como o biomonitoramento aquático vem sendo efetuado no Brasil e avaliar a distribuição espacial e temporal dos estudos de biomonitoramento. A metodologia utilizou 6 grupos de animais, sendo eles os macroinvertebrados bentônicos, peixes, moluscos, zooplâncton, fitoplâncton e perifíton e verificou como é feito o biomonitoramento utilizando esses organismos nos últimos anos. Os dados obtidos na plataforma Google Scholar foram classificados utilizando um intervalo de 10 em 10 anos em relação aos últimos 60 anos e também utilizando as regiões do Brasil para dividir os dados. Com relação aos resultados obtidos, foi possível observar um aumento significativo na utilização do biomonitoramento aquático a partir dos anos 2000, como também um aumento maior dos artigos publicados em inglês em relação aos publicados em português envolvendo o biomonitoramento aquático. Também foi possível observar o destaque positivo na produção de ciência das regiões Sudeste e Sul do Brasil. Resultados esses que eram esperados e foram confirmados ao longo do trabalho, concluindo que as causas para essas questões são políticas, falta de investimentos e distribuição de recursos.

Palavras-chave: Bioindicadores. Monitoramento biológico. Conservação. Macroinvertebrados bentônicos. Peixes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aumento do número de artigos ao longo das décadas.....	19
Figura 2 - Porcentagem dos artigos ao longo das décadas.....	20
Figura 3 - Variação da quantidade de artigos em português e inglês.....	20
Figura 4 - Artigos por região do Brasil	21

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVOS	9
2.1	Objetivos específicos	9
3	REFERENCIAL TEÓRICO	9
3.1	Introdução aos bioindicadores	9
3.2	O uso de bioindicadores em ambientes aquáticos	10
3.2.1	Macroinvertebrados bentônicos	10
3.2.2	Peixes	13
3.2.3	Moluscos	15
3.2.4	Zooplâncton	16
3.2.5	Fitoplâncton	17
3.2.6	Perifíton	18
4	MATERIAL E MÉTODOS	18
5	RESULTADOS	19
6	DISCUSSÃO	22
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
	REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

A relação entre o desenvolvimento humano e a degradação ambiental é antiga. Em quase todos os países, com raras exceções, o desenvolvimento econômico e social se dá pela degradação e exploração dos recursos naturais de forma indevida. Segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2011), nas últimas décadas o IDH subiu 41% em termos globais e 61% nos países com baixo IDH. Porém essa melhora de renda, saúde, educação refletiu também na deterioração de padrões ambientais fundamentais como, emissões de CO₂, qualidade do solo e água e coberturas florestal (PNUD, 2011). Segundo Carvalho (2003), quando o ser humano atingiu seu desenvolvimento intelectual e começou a se desenvolver mais rapidamente, sua população atingiu níveis populacionais jamais vistos, a degradação ambiental evoluiu no mesmo ritmo e começou a ficar insustentável, principalmente a partir do século XX.

Na segunda metade do século XX a temática sobre a proteção do meio ambiente ganha importância, pela percepção de que o planeta já dava indícios de que a degradação estava atingindo uma escala global e que nenhuma atividade econômica é viável se a natureza fornecedora de recursos materiais e energéticos estiver comprometida. Foi assim que, em 1972 entre 5 e 16 de junho, em Estocolmo na Suécia ocorreu a primeira conferência das nações unidas para tratar sobre as consequências da degradação do meio ambiente além de abordar políticas de desenvolvimento humano e a busca por uma visão comum de preservação dos recursos naturais. Nos anos posteriores aconteceram diversas outras conferências internacionais com foco nas emissões de poluentes, degradação hídrica entre outras, sendo a última o acordo de Paris em 2015 (STRELA, 2017).

A partir dessa maior preocupação com a degradação do meio ambiente, as adversidades climáticas e a própria sobrevivência do ser humano, estudos voltados ao monitoramento ambiental começaram a ser desenvolvidos, e métodos de recuperação ou de mitigação dos impactos começaram a ser utilizados. A degradação dos recursos naturais e a contaminação da água por fertilizantes, esgoto doméstico sem tratamento, crescimento das atividades agropecuárias e a perda de sedimentos por meio do escoamento superficial tem afetado a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, originando graves consequências para o ambiente e a saúde pública das populações (MARCHESAN et al., 2007, SONDERGAARD, 2007). Os ambientes aquáticos ganharam muita importância devido seu grau de degradação uma vez que é deles que tiramos água para consumo, alimentos, lazer entre outros elementos que, se extintos, mudariam muito a qualidade de vida (CNUMAD, 1992). Algumas técnicas

que ajudam na recuperação dos recursos hídricos tiveram seu uso mais difundido, como a implementação de estações de tratamento de esgoto (ETEs), que evitam que o efluente bruto chegue direto a um corpo receptor, o que poderia causar morte desse corpo e da fauna lá encontrada devido ao excesso de matéria orgânica, nutrientes, patógenos e sólidos totais, por exemplo, tiverem seu uso mais difundido. As ETE's são de fundamental importância, pois elas fazem com que as características físicas, químicas e biológicas do efluente a ser despejado no curso d'água estejam dentro dos parâmetros da legislação e não acarretem em problemas para o ambiente. No entanto no Brasil, segundo o Ministério do Desenvolvimento, em 2019 apenas 43,6% do esgoto do país era tratado. Conservação das matas ciliares é outra medida importantíssima na conservação de um curso d'água. Ela protege o solo de erosões e conseqüentemente evita o assoreamento dos corpos. Impede ainda a entrada de poluentes para o meio aquático, tem papel no controle dos ciclos hidrológicos, funciona como corredor ecológico dando alimento e abrigo para animais e ainda por cima, ajuda na retenção do CO₂ presente na atmosfera (GOMES, 2015). Outra medida muito importante é a "renaturalização dos rios". O termo consiste em voltar os cursos d'água a suas condições originais, com sistema de poço e corredeira, e retornando ao traçado de leito original, medidas essas que ajudariam muito a recuperação desses ambientes de extrema importância (GOMES, 2015).

O biomonitoramento é uma das formas de avaliar as condições dos rios e seu estágio de degradação, bem como a eficiência das estratégias de recuperação. Essa ferramenta consiste em avaliar a saúde dos ecossistemas presentes e utilizar as respostas dos organismos vivos, geralmente para ações antropogênicas, como parâmetro para avaliar o estado de conservação daquele ambiente (GOULART; CALLISTO, 2013). Existem diversos organismos que podem ser usados como bioindicadores de ambientes aquáticos, dentre eles estão os perifítons, zooplâncton, fitoplâncton, moluscos, macroinvertebrados bentônicos e os peixes. Os bioindicadores são escolhidos por sua sensibilidade ou tolerância a determinados parâmetros utilizando a resposta biológica dos mesmos. Algumas características que fazem desses organismos bons bioindicadores são responder aos impactos de forma mensurável, estar amplamente distribuído, ter fácil identificação, ser bastante estudado e por fim ter ciclo de vida longo. Segundo o pesquisador Donald Metcalf (1989), medidas de avaliação físicas e químicas registram apenas o momento exato em que foram coletadas, como se fossem uma fotografia do rio, necessitando assim de um número de análises alto para se dar uma noção temporal eficiente. Já os agentes bioindicadores interagem por toda sua vida com o ambiente permitindo assim que detectem variações sutis, lançamentos crônicos de poluentes ou ondas tóxicas intermitentes

agudas (DE PAUW; VANHOOREN, 1983). Além disso, são muito mais eficazes na detecção da poluição não pontual, sendo indicados para o monitoramento em escala regional (PRATT; COLER, 1976).

2 OBJETIVOS

O objetivo geral é avaliar, através da revisão em literatura como o biomonitoramento vem sendo realizado no Brasil, e se seu uso vem aumentando ao longo do tempo.

2.1 Objetivos específicos

- Conceituar o termo biomonitoramento a partir da sua definição em literatura e avaliar se seu uso vem aumentando;
- Avaliar quais são os principais grupos de bioindicadores utilizados no Brasil, e eventuais tendências temporais no número de publicações relacionadas;
- Apresentar o processo de internacionalização da ciência brasileira através da relação entre os artigos publicados em inglês e português;
- Avaliar em quais regiões brasileiras se concentram o maior número de estudos de biomonitoramento.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Definição de bioindicadores e biomonitoramento

Bioindicadores são espécies, grupos ou comunidades biológicas cuja presença, abundância e condições são indicativos biológicos de uma determinada condição ambiental e representam importante ferramenta na avaliação da integridade ecológica (LEMOS et al., 2010). Existem bioindicadores moleculares, celulares e ao nível do animal completo, de populações, comunidades ou mesmo ecossistemas. Portanto, os mais utilizados são aqueles que

levam em conta o tamanho da população, tamanho e peso dos indivíduos, e estrutura das comunidades de um determinado grupo de organismos (ARIAS et al., 2007). Podem ser classificados como sentinelas (indicam níveis de degradação e preveem ameaças), detectores (espécies locais que respondem a alterações de forma mensurável), exploradores (reagem positivamente a perturbações), acumuladores (permitem verificação de bioacumulação), bioensaio (utilizadas em experimento) e sensíveis (modificam o comportamento) (LEMOS et al., 2010).

Já o biomonitoramento é uma medida contínua de todos os estresses ambientais. Este método consiste no uso sistemático e respostas biológicas para avaliar mudanças ambientais (normalmente antropogênicas), com o objetivo de utilizar esta informação em um programa de controle de qualidade (EMBRAPA). É considerado mais eficiente do que inferências biológicas de comparações de valores obtidos em ensaios em laboratório de medidas instantâneas no campo ou contaminantes similares (USEPA, 2007).

3.2 O uso de bioindicadores em ambientes aquáticos

Nas últimas décadas, ambientes aquáticos têm sido modificados de maneira alarmante em função das atividades antrópicas que causam diversos impactos ambientais (GOULART; CALLISTO, 2003). Com isso, maneiras mais rápidas e seguras para se fazer esse diagnóstico da qualidade dos corpos hídricos, como a utilização de indicadores biológicos, sendo este um dos métodos mais eficazes para se avaliar tal aspecto de degradação ambiental (HEPP; RESTELLO, 2007). Ter um conhecimento a respeito das características dos animais é de fundamental importância, uma vez que para identificar os comportamentos dos mesmos perante as perturbações é necessário o conhecimento prévio (STRASKRABA; TUNDISI, 2000). Algumas metodologias de biomonitoramento de ecossistemas aquáticos se dão pela aplicação de índices bióticos, modelos de predição de impacto e protocolos de avaliação rápida da qualidade da água (PAR). Os bioindicadores mais utilizados são aqueles capazes de diferenciar entre oscilações naturais (mudanças fenológicas, ciclos sazonais de chuva e seca) e estresses antrópicos similares (USEPA, 2007), como por exemplo macroinvertebrados bentônicos, peixes, moluscos, zooplâncton, fitoplâncton e perifíton, que serão os grupos abordados nesse estudo.

3.2.1 Macroinvertebrados bentônicos

Macroinvertebrados bentônicos são provavelmente, os bioindicadores mais populares. São caracterizados por sua variedade de espécies, dinâmica de nutrientes e ciclo de vida longos. Além disso, se destacam por sua sensibilidade de resposta a diferentes tipos e níveis de perturbações. Os grupos *Chironomidae* e *Oligochaeta* são considerados os mais importantes por serem os mais amplamente distribuídos e frequentemente mais abundantes no ambiente (RIBEIRO; UIEDA, 2005), especialmente quando este se encontra degradado. O termo macroinvertebrados se refere a fauna de invertebrados que ao passar por um de malha de 0,5 mm fica retido, constituída por diversos táxons, sendo que a maioria destes animais se associam à habitats de fundo dos corpos de água, denominada bentônica (CALLISTO et al., 2001; MÄENPÄÄ et al., 2003). Mesmo sendo um dos mais utilizado em estudos de biomonitoramento, no Brasil sua utilização em maior escala teve início a partir dos anos 2000. Já na Europa, segundo Araya et al. (2003), os macroinvertebrados bentônicos são utilizados para a determinação da qualidade de água desde o início do século XX.

Os estudos e aplicação dos macroinvertebrados no biomonitoramento começaram a ser realizados em tanques e reservatórios (SILVEIRA et al., 2004). Esse uso inicial em ambientes lênticos se dá pelo fato da maior facilidade de estudo devido à pouca movimentação, pela maior facilidade em análises espaciais, sua grande presença em diversos ambientes, ao grande número de espécies e ao refinamento das metodologias (ROSENBERG; RESH, 1993). Logo passou a ser utilizado em diversos ambientes, como represas, bacias de rios, córregos e até ambientes marinhos, sendo assim se tornou uma ferramenta promissora no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos (SILVEIRA et al., 2004).

Com relação a metodologia utilizada, além de métodos apropriados, a boa distribuição dos pontos de coletas importantes é fundamental, pois boas amostras geram bons resultados. Para a localização inicial dos pontos podem ser utilizadas cartas do IBGE, imagens do Google Earth, mas não é descartado uma visita de reconhecimento do local. Em reservatórios, as coletas devem ser realizadas em seu corpo central, em geral a uma distância suficiente para evitar as interferências promovidas pelas operações da barragem (CETESB et al., 2012). Já em rios, existem duas abordagens básicas para a amostragem de macroinvertebrados bentônicos: amostragem multihabitat (MH) e de habitat único (SH), esta última também conhecida como amostragem direcionada (BLOCKSOM et al., 2008; HUGHES; PECK, 2008).

Na amostragem de MH, uma combinação dos tipos comuns de habitat (substrato ou tipos hidráulicos) presentes em cada local do riacho é amostrada, geralmente produzindo uma amostra composta para representar todo o local. Os diferentes habitats podem ser amostrados

sistematicamente ao longo do local, o que a USEPA (2007) chama de "amostragem de alcance amplo" (STODDARD et al., 2005; HUGHES; PECK, 2008), ou em proporção à estimativa visual do pesquisador de sua cobertura. Ambas as maneiras de conduzir amostragem multihabitat produzirão coleções faunísticas semelhantes se as distribuições reais e percebidas de habitat forem semelhantes em um local. Na amostragem SH, um tipo de habitat presente em todos os locais é definido antes da amostragem de campo (REYNOLDSON et al., 1999; PECK et al., 2006).

A principal vantagem da amostragem SH é a padronização intrínseca obtida pela não comparação de locais onde diferentes tipos de habitats foram coletados., as coletas são realizadas em pontos de deposição (margens deposicionais), porque segundo Shimizu et al. (2002) e Watanabe (2007) essas margens são suficientemente sensíveis para o dimensionamento da qualidade ecológica. Com relação ao período de amostragem, variações sazonais (verão chuvoso) influenciarão a estrutura da comunidade e conseqüentemente o resultado. Por isso, o inverno, ou estação seca, é um período mais indicado para a amostragem (COELHO-BOTELHO et al., 2006).

Na coleta de sedimentos, a primeira amostra deve se destinar à análise da comunidade bentônica, uma vez que a perturbação do fundo com as amostragens repetidas pode afugentar ou afastar os organismos mais ágeis. As réplicas são retiradas segundo um intervalo espacial aleatório em relação à primeira. O trecho percorrido e representado pelos dados obtidos estende-se por cerca de 100 metros, para rios a até um raio de 500 metros, para reservatórios. Em rios, as coletas devem seguir a direção jusante – montante, novamente para que não se perturbe o ambiente a ser coletado (KLEMM et al., 1990; BRANDIMARTE et al., 2004; KUHLMANN; WATANABE; KOBAYASHI, 2006; CETESB, 2012).

Após a coleta das amostras, é a vez das análises, que são feitas em duas etapas que podem ou não ser concomitantes: a triagem (separação dos macroinvertebrados dos detritos vegetais e partículas inorgânicas) e identificação e contagem. Com relação à identificação, para avaliação de impactos ambientais, é fundamental o investimento no refinamento taxonômico, já que diferentes espécies possuem diferentes requisitos ambientais (MACHADO; DRUMMOND; PAGLIA, 2008). Após a triagem, identificação e contagem, os dados devem ser colocados em um formulário próprio que identifique a amostra e análise, em seguida se preparam as lâminas e se avalia as deformidades dadas a sensibilidade ou tolerância a certo fator.

3.2.2 Peixes

A utilização de peixes no monitoramento biológico se justifica por sua importância biológica e socioeconômica e, de fato, diferentes índices baseados em peixes foram desenvolvidos ao redor do mundo para avaliar o status ecológico dos rios (ROSET et al., 2007). Além disso, por serem pertencentes ao topo da cadeia alimentar e possuem intrínseca relação com toda a cadeia inferior, indicam respostas de efeitos crônicos, acumulativos, persistentes no nível de cadeia e efeitos diretos no nível do indivíduo (AKAISHI, 2004).

Eles também seguem a tendência geral do biomonitoramento no país e os trabalhos tiveram início em maior escala a partir dos anos 2000, sendo um pouco tardia quando se comparado a outros países e continentes. Como os macroinvertebrados bentônicos, os peixes também começaram a ser estudados em ambientes (lênticos), mas logo em seguida foram aplicados para outros ambientes como riachos, rios e represas (BUSS et al., 2003). Existem ainda estudos com peixes no biomonitoramento até em manguezais, o que mostra o quão ampla é sua utilidade para esse fim. Atualmente são bem mais utilizados para ambientes lóticos (JARAMILO-VILLA et al., 2008).

Existem algumas metodologias de avaliação no monitoramento biológicos que podem ser utilizadas com os peixes também, como por exemplo a de índice de integridade biótica (IIB). O IIB foi testado e adaptado com êxito nos EUA, onde seu uso nos biomonitoramentos passou a ser exigida por lei (USEPA, 2007), e pode ser adaptado para ambientes bem distintos como lagos (DRAKE; PEREIRA, 2003), estuários (PUENTE et al., 2008) e recifes (JAMESON et al., 2001). A abordagem do IIB constitui em um método direto de valor comparável dos índices de diversidade, ao das espécies indicadoras, às listagens de espécies e às análises multivariadas, porque busca uma aproximação ecológica mais holística e integradora (ROSET et al. 2007).

Contudo, essa metodologia é mais aplicada no biomonitoramento em regiões subtropicais e temperadas ao redor do mundo e ainda não se testou de forma sistêmica em regiões de clima tropical, como o Brasil. Isso se justifica por alguns fatores como por exemplo, falta de financiamento à estudos e pesquisas (BOZZETTI; SCHULZ, 2004), baixo conhecimento ecológico e taxonômico de espécies que são utilizadas com indicadoras e dificuldade em

encontrar áreas de referência (CASATTI et al., 2009), além da falta de legislação específica para avaliações biológicas de qualidade de água (BUSS et al., 2016, MACEDO et al., 2016). Para países na zona tropical adaptações foram feitas em todo o mundo, mas a aplicação do método ainda é rara. Entre os países tropicais, o que mais aplicou o método é o Brasil (regiões sul, sudeste e amazônia), totalizando 32 trabalhos com o uso do IBB, como exemplo: contaminação industrial (ARAÚJO, 1998), contaminação industrial (ARAÚJO et al., 2003), agricultura intensiva, urbanização e canalização (BOZZETTI; SCHULZ, 2004) e mudanças no uso do solo (FERREIRA; CASSATI, 2006; DE CARVALHO et al., 2017; CHEN et al., 2017), sendo os 2 primeiros feitos em rios não vagueáveis e os demais últimos em rios vagueáveis.

A metodologia se resume em índices multimétricos que refletem componentes importantes da ecologia da comunidade como riqueza taxonômica, uso de habitat, composição trófica, saúde e abundância de indivíduos (ROSET et al., 2007). O IIB permite uma aproximação mais integrada e compreensível que a oferecida por outros indicadores biológicos (VERDONSCHOT, 2000). Busca medir conjuntamente vários atributos da comunidade, abordando-a em níveis diferentes (indivíduo, população e comunidade). Esse modelo considera a variação nos atributos das comunidades de peixes em rios com graus de interferências diferentes, comparando-os com um sistema modelo no qual a exposição a interferências antrópicas foi mínima, ou comparando com um sistema ideal.

Permite a divisão do ambiente de estudo em 6 classes de integridade biótica (sem peixes, muito pobre, pobre, regular, bom, excelente) (KARR et al. 1986). As métricas de Karr foram definidas levando em conta que cada espécie ou grupo apresenta diferentes graus de tolerância à qualidade da água, ao habitat ou a outras condições ambientais. A amostragem é específica para cada ambiente, tendo formas mais e efetivas dependendo da característica. A pesca elétrica é a metodologia de amostragem mais recomendada para riachos e rios, por ser considerada um método não seletivo, porém dependendo das dimensões do rio o uso de redes se torna necessário (BARBOUR et al., 1999, FLOTEMERSCH et al., 2006). Em relação as épocas de amostragem, o IIB não inclui variações sazonais, porque o efeito da variação estacional avaliado por Karr (1981) não apresentou resultados significativos.

Além dessa, existe a metodologia de *Reservoir Fish Assemblage Index* (RFAI), definem áreas possivelmente mais sensíveis através de critérios pré-estabelecidos, para assim se fazer uma investigação mais aprofundadas a respeito do status ecológicos dessas áreas. (JENNINGS et al., 1995). Além de ser um índice quantitativo (PETESSE et al., 2007) desenvolveram e aplicaram o RFAI em reservatórios no alto rio Paraná (TERRA; ARAÚJO, 2011) adaptaram

esse índice para 4 locais de amostragem, a fim de verificar a influência do reservatório de Funil em trechos lóticos (bacia do rio Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro). A equipe do laboratório de ictiologia da PUC Minas desenvolveu essa abordagem no projeto P&D Aneel-Cemig GT-477 (2014-2018) 144 SÉRIE PEIXE VIVO – BASES CONCEITUAIS PARA CONSERVAÇÃO E MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS na bacia do rio Grande (Alto Paraná), onde se localizam os reservatórios de Volta Grande e Nova Ponte.

3.2.3 Moluscos

Espécies de moluscos, principalmente os bivalves (mexilhões e ostras) também são recorrentes no biomonitoramento aquático como biomonitores da qualidade ambiental. Isso se justifica devido sua característica filtradora de alimentação, absorvendo e retendo partículas sólidas (RAINBOW, 1995). Devido algumas características como resistência a alterações ambientais, comportamento sésil, importância econômica, os mexilhões são mais estudados dentre os moluscos (RESGALLA et al., 2008). Estudos e aplicação dos moluscos no biomonitoramento começaram a partir de 2000, com evidente crescimento a partir de então. Devido a seu habitat natural mais recorrente, seus estudos começaram a ser realizados no ambiente marinho (costões rochosos e estuários), sendo a utilização de moluscos de água doce ainda muito pouco difundida no Brasil. Até 2012 seu uso mais comum ainda se restringia ao ambiente marinho, tendo ênfase os estados do Sul e Sudeste (MPA, 2012). Pelo fato de a costa brasileira ser rica em espécies de moluscos, eles são amplamente utilizados como indicador do grau da poluição marinha (RESGALA JR. Et al., 2008; WALLNERKERANACH & BIANCHINI, 2008).

As metodologias utilizando os moluscos, geralmente usam da sua capacidade de bio-acumular para avaliar o status ecológico da área de estudo. O principal agente poluente vinculado ao monitoramento biológico por moluscos são os metais pesados, principalmente por estes animais serem altamente tolerantes a este poluente. Eles são utilizados também por serem de fácil coleta e por ocorrerem com abundância (PEREZ et al., 2008). Uma das metodologias que visa diminuir as variações naturais como a diferença de tamanhos dos exemplares se baseia em um conceito chamado de biomonitoramento ativo (AMARAL et al., 2005). O método baseia-se na transferência de organismos de áreas contaminadas para áreas não contaminadas ou o inverso, após isso esses animais são deixados durante um período de tempo nesses ambientes e em seguida retirados para se fazer as análises (GALVÃO et al., 2009). Com estudos como esse foi possível provar a capacidade de bio-acumular e depurar os metais pesados. Com

relação a amostragem, ela é feita de forma randômica a partir dos animais coletados nas áreas de interesse e segundo os autores, quando levados em conta o fator sazonal (verão e inverno) teve-se diferenças significativas. Estudos como esses são encontrados em diversos estados brasileiros do Sul e Sudeste com resultados bem semelhantes, e que comprovaram o fato dos moluscos de bio-acumular e depurar metais pesados, como exemplo um estudo com ostras (*Crassostrea rhizophorae*) e mexilhões (*P. perna*) na costa do Rio de Janeiro (AMARAL et al., 2005).

3.2.4 Zooplâncton

A comunidade zooplanctônica não se trata de um grupo taxonômico e sim de uma reunião de diversos seres vivos que compartilham habitat (ESTEVES, 1998). É constituída de animais invertebrados microscópicos que vivem em suspensão, incluindo principalmente rotífero, cladóceros e copépodes (TUNDISI; MATSUMARA-TUNDISI, 2008). Algumas espécies de zooplâncton são utilizadas no biomonitoramento por serem consideradas sensíveis ou tolerantes à poluição orgânica. Trabalhos sobre qualidade ambiental e eutrofização envolvendo esses animais são realizados no Brasil desde 1970, porém vem sendo utilizado em biomonitoramento apenas nos últimos 30 anos (BUSS et al., 2008). Inicialmente foi utilizado em tanques, devido a maior facilidade de controle do estudo, mas hoje em dia tem relatos de estudos e utilização tanto em ambientes marinhos, quanto em rios, lagos e lagoas (FERREIRA et al., 2013).

Uma das metodologias utilizadas com o zooplâncton é a de ensaio de toxicidade, que começa pela coleta dos animais. A coleta do zooplâncton é feita por meio de arrasto vertical com rede de 68 μm , são coletadas ao menos 3 amostras em partes distintas do rio ou reservatório, uma na parte alta, outra na média e por fim na parte baixa do rio (KIMMEL et al., 1990). A partir daí, todos os espécimes são contados e identificados. Em seguida o método os relaciona com as seguintes características ambientais temperatura, oxigênio, turbidez, pH, condutividade, transparência e salinidade. A partir das análises (feitas geralmente de forma trimestral, e levando em conta períodos de chuva e de seca) dessas variáveis com os dados levantados e sabendo sobre sensibilidade ou resistência de cada espécie para determinada variável, é possível fazer o diagnóstico das questões ecológicas do curso d'água. Como exemplo, os copépodes possuem afinidade a águas mais quentes, já os cyclopóides predominam em águas mais frias. Através dessas análises e da revisão bibliográfica, é possível traçar um diagnóstico “status” do local (SARTORI, 2009).

3.2.5 Fitoplâncton

O fitoplâncton é o grupo de algas que tem como habitat a coluna d'água, sendo o grupo das clorofíceas o mais comum entre eles. O fitoplâncton causa implicações diretas no zooplâncton, por essas e por outras razões que a análise deste grupo é frequente em estudos ecológicos de ambientes aquáticos. A comunidade fitoplanctônica pode influenciar nos valores de transparência, oxigênio dissolvido e na liberação de toxinas nos ambientes aquáticos, que são todas variáveis estruturadoras da comunidade zooplanctônica (COELHO, 2000). Em relação às algas fitoplanctônicas é importante ressaltar que sua presença na água doce constitui elemento importante para avaliação das condições ambientais.

Segundo Stevenson e Smol (2003), diversos estudos sobre algas como indicadores de qualidade da água foram realizados em várias partes do mundo desde o começo do século passado, tendo nos últimos anos a implantação de muitos programas de monitoramento utilizando o fitoplâncton como um dos principais parâmetros na avaliação ambiental. As cianobactérias por exemplo, são organismos capazes de produzir toxinas e contaminar as águas, em alguns casos as toxinas causam mortandade dos peixes e são prejudiciais a saúde humana (MOTA, 1997). Elas se desenvolvem especialmente em ambientes com elevados níveis de nutrientes, ou seja, ambientes eutrofizados. Sendo assim, a presença de cianobactérias tem relação com a qualidade da água, pois evidencia o estado trófico do ambiente e também possibilita a identificação de possíveis despejos ilegais de efluentes na região.

As principais formas de tratar a água contaminada pelas cianotoxinas são a utilização de carvão ativado ou a flotação, porém a maior parte das estações de tratamento não contam com essas etapas, sendo assim, são ineficientes na remoção das cianotoxinas caso estas tenham sido liberadas na água, podendo assim, expor a população a grandes riscos de saúde (DRIKAS et al., 2001). Pelo que o que se pode ver na literatura e pelos artigos publicados, a utilização de fitoplâncton no monitoramento biológico na maioria das vezes é feita em reservatórios ou represas (FERREIRA et al., 2013).

A coleta das amostras segundo a literatura, é feita de forma mensal e em 3 profundidades diferentes (superfície, 2 metros e fundo) utilizando rede de plâncton. Depois de coletadas, a partir da composição taxonômica e a diversidade da comunidade são calculados índices biológicos utilizados para avaliar a saúde do ambiente. Como dito pelo autor Gentil (2008), as comunidades fitoplanctônicas apresentam variações significativas com a sazonalidade. Assim,

é sempre importante analisar as respostas dos espécimes a variações como a temperatura, sazonalidade, condutividade entre outros, e assim traçar o “status” ambiental do ambiente.

3.2.6 Perifíton

Segundo WETZEL (1983), perifíton é uma complexa comunidade de microbiota constituída por algas, bactérias, fungos, animais e detritos orgânicos e inorgânicos, que se encontra associada a substratos submersos orgânicos ou inorgânicos, vivos ou mortos. A comunidade perifítica é encontrada em ecossistemas rasos e nas regiões da interface terra água, tendo em vista que esses ambientes propiciam seu desenvolvimento por terem macrófitas aquáticas e sedimentos, que servem de superfície para os perifítons. Trabalhos com este grupo de organismos são um pouco negligenciados e tem seus estudos começando por volta dos anos 90 Wetzel (1990).

Com o início dos estudos nos anos 90, foi comprovado dominância de tais tipos de sistemas em nível mundial, particularmente em trópicos e subtópicos. Isso despertou o interesse pelo papel do perifíton no metabolismo dos ecossistemas aquáticos, principalmente em sistemas lênticos. O atual crescimento na utilização desses animais em estudos de monitoramento biológico se dá por alguns fatores: são moduladores químicos; possuem vida séssil, rica em espécies quando comparados a outros grupos; dentre outros fatores. Pelo o que foi encontrado na literatura, seu uso mais comum se dá em represas, rios e reservatórios, sendo também encontrado poucos estudos e informações abordando esses organismos.

A respeito da metodologia utilizada no monitoramento com o perifítons, algumas buscam avaliar o fator fósforo e a dinâmica desse elemento nos sistemas aquáticos e seu efeito na biodiversidade. A capacidade de remoção do fósforo pelo perifíton foi reportada por alguns autores (VYMAZAL, 1989; VYMAZAL; RICHARDSON, 1992; HAVENS et al., 1999a; HAVENS et al., 1999b). Wetzel e Burckholder (1990), demonstraram que algumas algas perifíticas podem reter até 60% de fósforo disponível na água. Sendo assim, uma das metodologias de avaliação se baseia na produtividade perifítica frente a diferentes cargas de nutrientes utilizando *wetlands* artificiais e o grupo serve de indicativo da disponibilidade de nutrientes na coluna d'água, já que a comunidade responde tanto à concentração como à carga de nutrientes nas *wetlands*.

4 MATERIAL E MÉTODOS

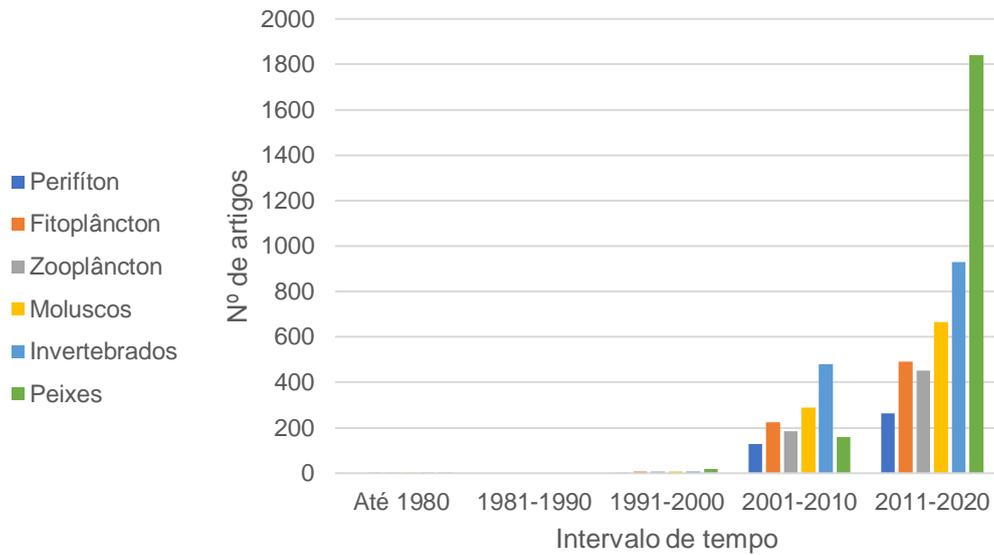
A pesquisa bibliográfica foi feita através da plataforma Google Scholar, de onde foram obtidos os artigos, teses, resumos e relatórios necessários para dar suporte a metodologia escolhida, todos eles desenvolvidos por autores brasileiros. As palavras chaves utilizadas foram “biomonitoramento aquático” junto de cada grupo de organismos utilizado no estudo: “perifíton”, “fitoplâncton”, “zooplâncton”, “moluscos”, “macroinvertebrados bentônicos” e “peixes”. A busca foi efetuada no dia 11/10/2020 com os termos descritos acima em inglês e português. Para cada grupo de organismos os respectivos artigos foram divididos temporalmente (em 5 intervalos de tempo: sendo eles anterior a 1980, 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010 e 2011-2020) e espacialmente (estratificando as regiões brasileiras onde o estudo foi desenvolvido).

A partir destes dados, utilizando do software Excel e de suas ferramentas de soma, foi possível avaliar a variação temporal e espacial dos estudos com biomonitoramento, além de avaliar a quantidade e artigos encontrados em português e inglês

5 RESULTADOS

Foram encontrados 4641 artigos sobre biomonitoamento aquático durante as buscas feita através do Google Scholar e tiveram um incremento grande ao longo das décadas. Durante a década de 80 foram feitos estudos para construção de modelos preditivos, “*River Invertebrate and Classificarion System (RIVPACS)*”, mas no Brasil ainda não havia artigos publicados referentes ao tema (Figura 1). Nos anos de 1990 a quantidade de trabalho encontrados no Brasil, ainda é baixa, sendo que dos 65 projetos de monitoramento do programa Monitore do MMA, apenas 4 apresentavam algum componente biológico. Além disso, esses trabalhos em sua maioria se localizam no Sul e Sudeste e em represas artificias.

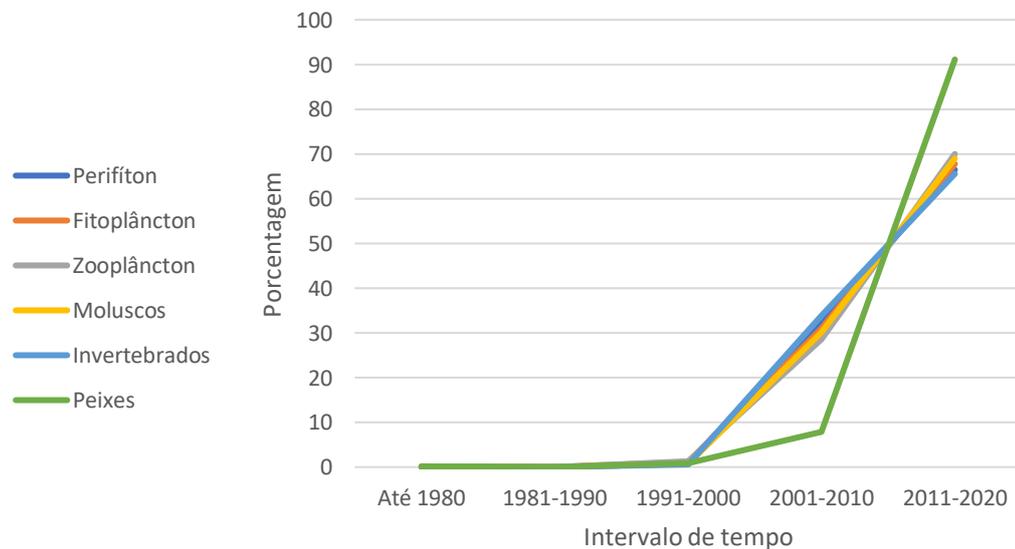
Figura 1 – Número de artigos publicados no Brasil utilizando biomonitoramento aquático.



Fonte: do Autor (2021).

A partir da virada do milênio observou-se o crescimento grande do número de artigos para todas os grupos avaliados, com maior destaque para os peixes (Figura 2).

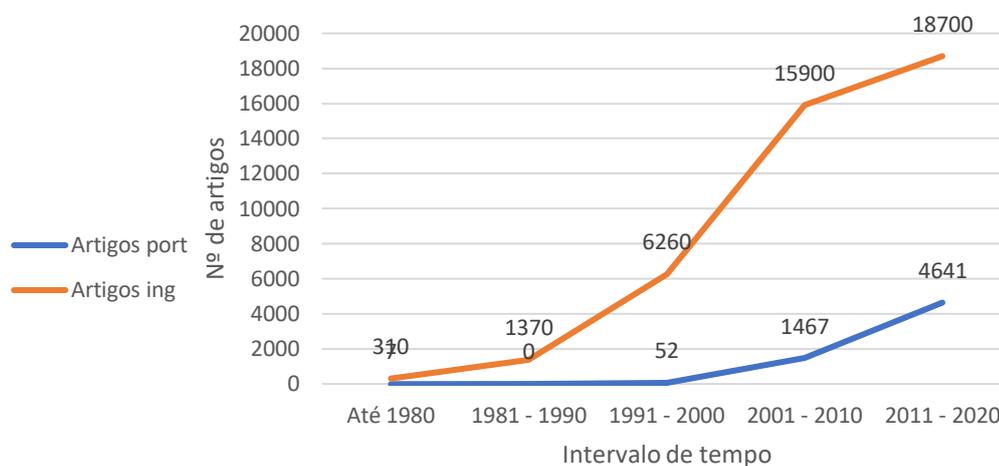
Figura 2 -Porcentagem de crescimento de artigos de biomonitoramento ao longo das décadas.



Fonte: do Autor (2021).

Observou-se ainda aumento da proporção dos estudos publicações em inglês, apontando para uma maior internacionalização da pesquisa feita no Brasil (Figura 3).

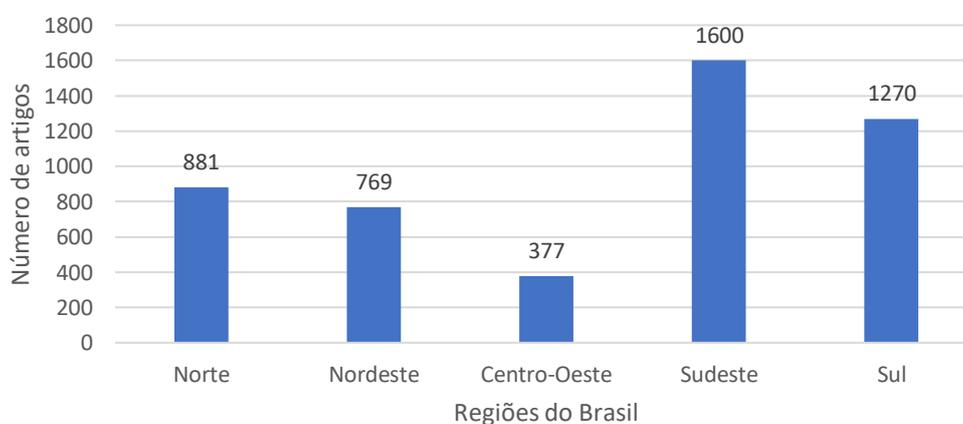
Figura 3 – Número de artigos publicados no Brasil em português e inglês em biomonitoramento.



Fonte: do Autor (2021).

Com relação à distribuição da produção científica brasileira, observa-se que as regiões Sul e Sudeste produzem mais ciência e tem uma preocupação maior com o meio ambiente, o que não quer dizer que são menos poluídos (Figura 4). Já a região Centro-oeste apresenta um número baixíssimo de publicações e estudos voltados para a área. Em termos de comparação temos a região sul liderando o ranking com 7,6 vezes mais artigos que a região Centro-Oeste, última colocada no quesito avaliado nesse estudo, evidenciando assim uma discrepância e que deve ser estudada para levantar as causas e assim diminuir essa defasagem.

Figura 4 – Número de artigos utilizando o biomonitoramento nas regiões do Brasil



Fonte: do Autor (2021)

6 DISCUSSÃO

Como foi possível ver no presente estudo através de pesquisas e da revisão na literatura, a utilização do biomonitoramento vem crescendo tanto no Brasil quanto no mundo e utilizando diversos tipos de organismos para essa avaliação. O uso de organismos bioindicadores para o monitoramento do meio ambiente não é novo, com registros de estudos utilizando índices bióticos com macroinvertebrados bentônicos na Alemanha e Holanda ainda na década de 60. Nos anos 70 pesquisadores da Europa Ocidental e América do Norte (PRATT; COLER, 1976; ARMITAGE, 1995; CAIRNS JR.; PRATT, 1993), levantam a pauta de que a qualidade da água devia ser avaliada também pelos aspectos biológicos do sistema e não mais apenas pelas metodologias tradicionais (físicas, químicas e bacteriológicas). Em 1976 um grupo da Grã-Bretanha sintetizou os conhecimentos produzidos criando um sistema conhecido como *Biological Monitoring Working Party score system* (BMWP), por isso a pouca quantidade de artigos encontrados para o período anterior a 1980.

Dos anos de 1980 até os anos 2000, houve um pequeno acréscimo no número de estudos publicados, porém a partir da virada do milênio esse número sobiu consideravelmente. Pelo o que foi encontrado em artigos e estudos publicados, o motivo de tal crescimento é que o uso de bioindicadores permitem uma avaliação mais segura e confiável da qualidade ambiental e isso passa a ser mais significativo a partir desta data. As informações físicas e químicas em um ambiente são informações pontuais, e acontece que a qualidade de um ambiente é a somatória de várias características e fatores, assim, mesmo que o grau de deterioração não seja tão elevado, os seres vivos respondem de forma integrada a todos eles, ou seja, nos dão um panorama sobre o contexto geral do ambiente (ROCHA, 2009). Os bioindicadores reagem as mudanças do ambiente e podem dar o testemunho de efeitos cumulativos ou pontuais, exatamente por serem seres vivos.

Outro fator que pode explicar seu crescimento recente, principalmente a partir dos anos 2000 como visto anteriormente, é que os bioindicadores se tornaram uma ferramenta eficiente para o monitoramento de uma variedade enorme de mudanças que estão correndo rapidamente no mundo todo. Além disso, pela própria questão da evolução da ciência em si, tendo se expandindo para várias áreas e tendo hoje uma visão mais ecológica e respeitosa com a natureza do que antigamente, em que apenas o aumento da produção, a expansão, melhoria dos processos produtivos e o desenvolvimento econômico a todo custo era o importante, mas chegamos em um estágio da nossa evolução onde não é mais possível negligenciar os danos a natureza

causados por nós. Quase todo avanço da ciência nos tempos atuais, busca uma relação mais estreita com o meio ambiente, o colocando como fator de influência e levando em consideração os possíveis danos para o mesmo, o que contribui demais para o maior número de estudos utilizando o monitoramento biológico. Como podem ser utilizados vários grupos de organismos no monitoramento, podemos assim avaliar diversos tipos de poluições e contaminações, desde as pontuais, difusas ou crônicas. Além disso, com os bioindicadores podemos fazer a avaliação de pequenas áreas e até mesmo mudanças globais, como por exemplo o aquecimento global e sua relação com os corais.

Assim, percebeu-se recentemente que os bioindicadores possuem aplicações práticas, são alternativas mais eficazes e mais baratas do que sofisticadas análises físicas e químicas, muito mais dispendiosas. Até o início deste século, o número de espécies conhecidas como bioindicadores era pequeno, restrito a umas poucas dentro de cada grupo taxonômico. Atualmente, as pesquisas estão aceleradas e a prospecção de espécies indicadoras se tornou um tema prioritário (ROCHA, 2009). Outro fator que também explica o avanço nessa área, é que com o atual estado de degradação da natureza, o desenvolvimento de técnicas que ajudem a nos informar sobre as espécies que quando presentes são indicadoras da saúde dos ambientes que se encontram íntegros, naturais, e aquelas cuja presença ou crescimento descontrolado nos informa sobre alterações, é essencial, pois quanto mais dados e informações se tiver para reverter esse cenário que está atingindo um nível crítico, melhor, por isso se dá o recente interesse acadêmico nesta área, fatores esses que podem explicar tal crescimento (EVASO et al., 1996).

Os fatores listados acima, podem ser alguns dos que justificam o crescimento exponencial na utilização de bioindicadores no Brasil, principalmente a partir dos anos 2000, o que mostra que a ciência brasileira está atenta às tendências mundiais.

Com relação aos resultados encontrados em relação ao também exponencial aumento dos artigos encontrados em inglês, se dá pela internacionalização da ciência brasileira como um todo. Segundo BARRAL (2013), a situação da ciência no país quando comparadas aos demais BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), temos liderança nas áreas de biologia, ciências biomédicas e clínica médica, onde os bioindicadores e o biomonitoramento se encontram dentro da área da biologia. Outro fator que explica o grande número dos artigos encontrados em inglês relacionado a internacionalização da ciência no país, é que para as universidades, professores e pesquisadores brasileiros trazerem a atenção externa e por fim conseguirem atrair capital de empresas multinacionais ou países mais desenvolvidos, é através

de publicações internacionais, em que o alcance se torna muito maior e pode ser entendido por mais pessoas, tendo em vista que o inglês é a língua mais falada do mundo. Além de trazer investimentos, isso aumenta a visibilidade da educação superior brasileira e ajuda a inserir as universidades em programas internacionais de cooperação, por isso o número de artigos em inglês tem um aumento maior que os publicados em português. O boom dos artigos em inglês se deu a partir dos anos 2000 em que tem um aumento de mais de 10000%, período em que também se teve o maior incentivo do governo federal no intercâmbio e internacionalização da ciência brasileira em geral, como o programa do Ciências Sem Fronteira por exemplo, a vinda em maior escala de profissionais estrangeiros para compartilharem o conhecimento e assim, abrir portas internacionais para nossos pesquisadores e estudos.

Esse processo de internacionalização poderia ser muito maior, mesmo os artigos em inglês tendo tido um crescimento 4 vezes maior. Esse processo ainda é sub aproveitado, por alguns fatores como por exemplo a burocracia, já que segundo Barral (2013) há muita dificuldade para manusear os recursos nas universidades brasileiras. As universidades do exterior têm muito mais mobilidade, tanto para o uso de pessoas quanto para o uso de recursos. Para Foguel (2013), além da burocracia, o Brasil precisa investir mais em temas de relevância internacional e em outros meios de atração, para aí sim, o país conseguir aproveitar todo seu potencial na ciência e começar a ter mais reconhecimento e exportar seus conhecimentos para mundo. E é interessante notar, que países cientificamente emergentes costumam apresentar níveis de colaboração internacional menores do que em países tradicionais. Quase $\frac{3}{4}$ da produção científica desses países são oriundos de esforços colaborativos de pesquisadores locais (Leta & Chaimovich, 2002; Royal Society, 2011)

Ao se avaliar o número de publicações por regiões brasileiras, observou-se que os estados do Sul e Sudeste se destacaram na produção científica. No caso brasileiro, a concentração espacial está diretamente relacionada à localização dos campi das universidades públicas, primordialmente as estaduais e federais, uma vez que essas são responsáveis pela maioria da atividade científica, padrão típico de países em desenvolvimento. Em 2009, somente sete universidades, localizadas nas regiões Sudeste e Sul do país, foram responsáveis por cerca de 60% dos trabalhos publicados em periódicos internacionais (GLÄNZEL et al., 2006; LETA et al., 2006). Para Aragão (2013), o eixo Rio-São Paulo concentra as universidades do país de padrão científico e tecnológico mais elevado. Por isso, é natural que a maioria dos artigos sejam publicados nessas regiões, inclusive os de biomonitoramento. Segundo a FAPESP (2011), no estado de São Paulo por exemplo, o número de publicações é superior a todos os países da

América Latina. A cidade de São Paulo concentra cerca de 20% da produção científica brasileira e cresceu 21 posições na lista das cidades de maior geração de conhecimento no mundo durante a última década (SIDONE et al., 2015). Por conta disso, passou a figurar entre os 20 municípios que mais produziram ciência no mundo (ROYAL SOCIETY, 2011), destacando-se internacionalmente entre as cidades que mais apresentaram crescimento na produção científica recentemente (MATTHIESSEN et al., 2010).

Como aponta a literatura especializada, a desigualdade regional na produção científica está estreitamente associada às acentuadas disparidades na distribuição dos recursos científicos e tecnológicos (ALBUQUERQUE et al., 2005; DINIZ; GONÇALVES, 2005; CHIARINI et al., 2014). Avaliado esse quesito, a maior concentração de universidades e institutos de pesquisa de excelência se concentram nas regiões Sudeste e Sul, sendo estas então favorecidas (SUZIGAN; ALBUQUERQUE, 2011) além da maior disponibilidade de recursos humanos (ALBUQUERQUE et al., 2002) e financeiros devido a um maior investimento e órgãos de educação, como a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), o CNPq, a Capes e a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) (FAPESP, 2011).

Com relação ao destaque negativo nesse quesito, o Centro-Oeste, muito se deve ao baixo índice de universidades na região e consequentemente associada ao baixo investimento do setor público, tanto na qualificação de capital humano como na melhoria da infraestrutura de universidades e institutos de pesquisa (HELENE; RIBEIRO, 2011), explicando assim os resultados obtidos quando se avalia a distribuição de artigos por estado. Além disso, a questão de exploração da região, da fronteira agrícola a afins, que por muitas das vezes negligencia a questão ambiental. Sendo assim, esse tipo de exploração pode justificar a falta de artigos encontrados para região

Os ecossistemas aquáticos são geralmente vulneráveis a contaminação, sendo diversas as fontes de poluição, como efluentes industriais, processos de drenagem agrícola, despejos acidentais e não acidentais de produtos químicos e lixo domiciliar, que alcançam rios e mares e contaminam estes ambientes, por isso animais estão sendo muito utilizados para fazer o acompanhamento da sua qualidade.

Primeiramente, os bioindicadores mais utilizados são aqueles capazes de diferenciar entre oscilações naturais, como exemplo mudanças sazonais e estresse antrópicos. Dentre os organismos avaliados nesse estudo para o biomonitoramento, todos eles apresentam baixa incidência para os anos anteriores a 2000, o que eu acredito ser pela tendência científica e o recente interesse para com eles, sendo que antes eles passavam despercebido e seu uso era sub

utilizado e o foco do monitoramento estava em outras técnicas e metodologias. Com o crescimento recente, os métodos utilizados para esse monitoramento foram amadurecendo, para isso foram feitos estudos e testes para se aperfeiçoar a técnica, o que explica o crescimento repentino. Dentre os organismos avaliados, os que obtiveram a maior utilização nos estudos foram os macroinvertebrados bentônicos e os peixes, que se destacaram bem como mostram os gráficos obtidos nesse estudo e pelo que a literatura disponível registra, o que valida os resultados.

A explicação para o destaque de peixes e macroinvertebrados bentônicos se dá por alguns motivos tais como, possuem características sésseis, ciclo de vida relativamente longo quando se comparados a outros organismos do plâncton e são de fácil visualização pois possuem relativamente um tamanho grande (MILESI et al., 2008), possuem elevada diversidade taxonômica, e além disso, destacam que as amostragens de bentos são relativamente fáceis e baratas. Os bentos são variavelmente sensíveis às condições ambientais, são sedentários, podem integrar e acumular condições em um ambiente, oferecendo um adequado nível de diagnóstico, considerando a natureza dos efeitos observados (CALLISTO et al., 2004). Como a literatura prova, os macroinvertebrados bentônicos tem todas as características desejáveis para ser utilizado como um bioindicador, por isso então ele é o segundo mais utilizado e encontrados em estudos pesquisados, por todas suas boas características para responder a estresses antrópicos ou naturais.

Já os peixes, o grupo de organismos mais utilizados nos estudos de biomonitoramento aquático, são bons bioindicadores por ocuparem diferentes posições tróficas em uma teia alimentar, sofrem bioacumulação e respondem sensivelmente a agentes ambientais mutagênicos, ou seja, eles realmente entregam e deixam registrados variações no ambiente, sejam elas por causas naturais ou antrópicas. Além disso, outro fator que ajuda a explicar a maior utilização de peixes em estudos como esse, é que dentre os animais avaliados nesse estudo, eles são os que possuem uma relação mais estreita com os seres humanos. São os mais conhecidos e estudados, sendo assim, se tem maior conhecimento do funcionamento biológico do animal, de possíveis interferências que podem ocorrer e acima de tudo eles são utilizados por nós como alimento em grande escala, então tudo que interfira a vida ou a saúde desses animais, nos gera maior preocupação e curiosidade, conseqüentemente o maior número de estudos encontrados, pode também ser explicado por isso.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao fim desse estudo, foi possível avaliar a definição em literatura do biomonitoramento e avaliar toda sua aplicação prática, levando em conta grupos de organismos utilizados, regiões no Brasil onde são mais comuns estudos envolvendo o biomonitoramento e também como o Brasil exporta esses artigos em inglês. Além disso evidenciou-se também a discrepância no número de publicações da região Sul e Sudeste com as demais regiões do Brasil.

Como foi visto a metodologia utilizada para gerar os dados que alimentaram a pesquisa, foi satisfatória, pois utilizando o google scholar foi possível encontrar os artigos sobre cada grupo estudado, estratificar em intervalos de tempos inicialmente definidos e assim começar a desenvolver o trabalho. Porém em alguns momentos tive problemas com dados conflituosos, pois a maioria dos artigos não aborda apenas um bioindicador isolado, mas sim uma série deles. Sendo assim, provavelmente os mesmos artigos foram contabilizados para grupos de organismos diferentes, influenciando assim o valor total de arquivos encontrados por exemplo. Mas para os dados individuais essa interferência não é de tanta importância, porque o objetivo era contabilizar artigos que continham os animais desejados como bioindicadores, independente se haviam outros animais juntos ou não. Levando em conta esse pequeno erro de avaliação dos números totais de estudos encontrados, tanto em português quanto em inglês, acredito que a metodologia utilizada para conseguir os dados foi eficiente.

Com relação a todos os grupos de bioindicadores estudados no trabalho, fica evidente que todos são bem utilizados no Brasil, acredito que o motivo, é por serem os que reúnem as melhores características de um organismo para ser utilizado no biomonitoramento. Então, desde o começo acredito ter escolhido os que realmente são relevantes para tal função e isso foi comprovado com os dados, que mostram que todos tem uma quantidade significativa de trabalhos realizados. Porém, existe um uso maior de peixes e macroinvertebrados bentônicos, que são os mais utilizados, isso se justifica pela maior presença desses animais nos cursos d'água, sendo esses presentes em praticamente todos os ambientes aquáticos. Com uma ressalva para os peixes, os mais utilizados pela sua relação mais estreita com os seres humanos quando se relacionado a todos os outros grupos de animais avaliados aqui. Um fato curioso fica a cargo da tendência temporal do biomonitoramento, ficou evidente pelos dados que antes dos anos 2000, seu uso era muito restrito e pouco difundido, tanto no Brasil quando fora do país, isso se deve pela evolução natural da ciência e pelas tendências de cada época, onde antes da virada do milênio a parte ambiental era negligenciada por falta de interesse ou por falta conhecimento dos danos e consequências que esse descuido poderia gerar, cuidado que tomou mais corpo a partir dos anos 2000, repercutindo dos grandes encontros ambientais que tiveram nos anos

anteriores e das preocupações dos problemas eminentes que estavam por vir. Porém para a década de 80, não se encontra nenhum tipo de estudo para nenhum dos grupos organismos utilizados nesse estudo, tendo em vista que na década anterior e na posterior, mesmo que com um número baixo, se teve estudos sobre esse assunto, podendo ser um reflexo econômico ou político da época, mas foi um fato curioso descoberto no estudo que não teve uma explicação concreta e plausível.

A respeito da internacionalização da ciência no Brasil, acredito sim que o resultado esperado foi alcançado e que a bibliográfica disponível correspondeu às expectativas esperadas por mim. Ficou evidente que o crescimento desse processo, do aumento dos artigos publicados em inglês se deu a partir do momento em que o governo federal presente no momento, tinha como uma de suas principais ideias, a fomentação da educação pública e do intercâmbio de alunos, professores e pesquisadores. Desse jeito, durante quase todo esse tempo foi o período em que essa internacionalização ficou mais forte e disparou em número de artigos, chegando a ficar até 4 vezes maior que as publicações encontradas em português, como já dito, o que era esperado mesmo, pois a ciência só evolui e cresce quando se tem investimento, pois para o desenvolvimento de pesquisas, manutenção de professores e alunos que realizam essas pesquisas, só se dá com investimento e suporte por parte das universidades e instituições e consequentemente dos governos, então sim, os resultados aqui também já eram esperados e foram provados ao longo do estudo.

Como último objetivo proposto, iremos abordar a questão da distribuição demográfica dos estudos no Brasil, que foi proposto nos objetivos, como já citado no começo deste tópico, o que era esperado também foi alcançado com a análise dos dados obtidos na literatura, comprovando que realmente a região Sudeste é o polo do Brasil, e tudo se concentra lá, principalmente o desenvolvimento de ciência, seguida pela região Sul. Além disso, foi possível evidenciar que o centro-oeste se destaca negativamente, pela questão da forte influência da agricultura, que querendo ou não, está em lado oposto a zelo ambiental, por isso e pelos fatores de se ter poucas universidades também, se destacou negativamente na quantidade de artigos produzidos.

Por fim, na minha opinião esse estudo conseguiu justificar a sua finalidade, embasando sobre todos os objetivos propostos, em que muitos deles já eram esperados por mim. As perspectivas levantadas no início do trabalho foram confirmadas, o objetivo geral e os específicos foram alcançados e a metodologia utilizada e a bibliografia foram suficientes e

corresponderam às expectativas, sendo assim, acredito que o atual estudo cumpriu o que se propôs a fazer no início.

REFERÊNCIAS

ALVES, Raul. **Uso de peixe como bioindicador de poluição aquática do Rio Catolé Grande, Bahia**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, Bahia, 2017.

ARAGÃO, Carlos. Quatro Lições para a Internacionalização da Ciência Brasileira. **Academia Brasileira de Ciências**, 2013. Disponível em: <http://www.abc.org.br/2013/07/17/quatro-licoes-para-a-internacionalizacao-da-ciencia-brasileira>. Acesso em: 22 dez 2020.

ARIAS, A. R. et al. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Rio de Janeiro: Ciência e Saúde Coletiva**. Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, 2006.

ARMITAGE, P. D., 1995. Behaviour and ecology of adults. In: *The Chironomidae: Biology and Ecology of Non-Biting Midges* (P. D. Armitage, P. S. Cranston & L. C. V. Pinder, ed.), pp. 194-224, London: Chapman & Hall.

BAGLIANO, R. Principais organismos utilizados como bioindicadores relatados com uso de avaliadores de danos ambientais. **Meio Ambiente e Sustentabilidade**. Araguari, v. 2, n. 1, p. 24-40, 2012.

BAPTISTA, D. Uso de Macroinvertebrados em Procedimentos de Biomonitoramento em Ecossistemas Aquáticos. **ARCA Fiocruz**. Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 426-441, 2008.

BENASSI, J. O uso de bioindicadores e biomarcadores na avaliação do processo de remediação de efluente de lixiviação de carvão mineral utilizando microesferas de quitosana. 2004. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2004.

BUSS, D.; BAPTISTA, D.; NESSIMIAN, J. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. **Rio de Janeiro: Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, p. 465-473, 2003.

CALLISTO, M. et al. (2019). Introdução aos conceitos para conservação e manejo de bacias hidrográficas. In: Marcos Callisto, Diego Rodrigues Macedo, Diego Marcel Parreira de Castro & Carlos Bernardo Mascarenhas Alves (orgs.) Bases Conceituais para Conservação e Manejo de Bacias Hidrográficas. **Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais**, pp. 17-28 (Série Peixe Vivo, 7). DOI: 10.17648/bacias-hidrograficas-1

CALLISTO, M. **Bioindicadores de Qualidade de Água**. Laboratório de Ecologia de Benthos, 2001. Disponível em: http://labs.icb.ufmg.br/benthos/index_arquivos/Page1631.htm#:~:text=A%20utiliza%C3%A7

%C3%A3o%20dos%20bioindicadores%20%C3%A9,no%20campo%20ou%20contaminantes%20similares. Acesso em: 15 de dezembro de 2020.

CARVALHO, M.; TRAVASSOS, C.; COELI, C. A Internacionalização da Ciência. **Rio de Janeiro: Saúde Pública**. Rio de Janeiro, v. 30, n. 8, p. 1585-1587, 2014.

CETESB (São Paulo). **Protocolo para o biomonitoramento com as comunidades bentônicas de rios e reservatórios do estado de São Paulo** [recurso eletrônico] / CETESB ; Mônica Luisa Kuhlmann ... [et al.]. -- São Paulo : CETESB, 2012. 113 p. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/protocolo-biomonitoramento-2012.pdf>> . Acesso em: 10 dez 2020

CNUMAD (Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento), 1992. *Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento: Agenda 21*. Brasília: Senado Federal.

DANZE, A.; VERCELLINO, I. Uso de Bioindicadores no Monitoramento da Qualidade da Água. **Revista Revinter**, v. 11, n. 01, p. 100-115, 2018.

DE SOUZA, M. **Influências ambientais e biológicas sobre organismos zooplanctônicos e sua utilização como bioindicadores**. 2012. Monografia (Licenciatura em Ciências Naturais) – Universidade de Brasília, Brasília- DF, 2012.

DE-CARLI, B. et al. Comunidade zooplanctônica e sua relação com a qualidade da água em reservatórios do Estado de São Paulo. **Iheringia, Sér. Zool**. Porto Alegre, v.108, 2018.

DORNFELD, C. B. **Utilização de Análises Limnológicas, Bioensaios de Toxicidade e MacroInvertebrados Bentônicos para Diagnóstico Ambiental do Reservatório de Salto Grande (Americana – SP)**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2002.

FELLET, J. Degradação Ambiental Ameaça Progresso em Países Emergentes. **BBC News**, 2011. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2011/11/111102_pnud_ambiente_jf. Acesso em: 10 dez 2020.

FERREIRA, M. et al. Contaminação por Metais Traços em Mexilhões Perna da Costa Brasileira. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 43, n. 6, p. 1012-1020, 2013.

GENTIL, R.; TUCCI, A.; SANT'ANNA, C. Dinâmica da comunidade fitoplanctônica e aspectos sanitários de um lago urbano eutrófico em São Paulo, SP. **Hoehnea**. São Paulo, v. 35, n. 2, p. 265-280, 2008.

GOMES, A. A importância da Mata Ciliar Para a Proteção das Matas. **Blog Grupo OPERSAM**, 2015. Disponível em: <<http://info.opersan.com.br/mataciliareaprotecaodasaguas>>. Acesso em: 10 dez 2020.

JARAMILLO-VILLA, U.; CARAMASCHI, E. Índices de Integridade Biótica Usando Peixes de Água Doce: Uso nas Regiões Tropical e Sub-Tropical. **Oecologia Brasiliensis**. Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 442-462, 2008.

JORGE, T. P. **A utilização de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade da água: o biomonitoramento como uma chave para a restauração de ambientes aquáticos degradados por ações antrópicas.** 2016. Monografia (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras-PB, 2013.

KUHLMANN, M. L.; WATANABE, H. M.; KOBAYASHI, J. T. Estudo da estrutura da comunidade bentônica. In: MOZETO, A. A.; UMBUZEIRO, G. A.; JARDIM, W. F. (Ed.). **Métodos de coleta, análises físico-químicas e ensaios biológicos e ecotoxicológicos de sedimentos de água doce: projeto QUALISED.** São Carlos: Cubo, Cap. 5, Parte III, p. 182-189, 2006.

LOURENÇO, Luana. Problemas ambientais ameaçam avanços no desenvolvimento humano. **Agência Brasil**, 2011. Disponível em: <http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2011-11-02/problemas-ambientais-ameacam-avancos-no-desenvolvimento-humano-diz-pnud>. Acesso em: 10 de dezembro de 2020.

MANÇOS, G.; COELHO, F. Internacionalização da Ciência Brasileira: Subsídios para avaliação do Programa Ciência Sem Fronteiras. **Revista Brasileira de Políticas Públicas Internacionais.** São Paulo v. 2, n. 2, p. 30-31. dezembro de 2017.

MENEZES, G. Recuperação de Manguezais: Um Estudo de Caso na Baixada Santista, Estado de São Paulo, Brasil. 1999. Dissertação (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 1999.

MONTEIRO, R. et al. Performance Ambiental e o Desenvolvimento Humano dos Municípios Paulistas. **Ambiente e Sociedade**, v. 17, n. 3, p. 221-238, 2014.

NOGUEIRA, G. Uso de Bioindicador para a Avaliação da Qualidade da Água no Cultivo da Tilápia. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/209040/uso-de-bioindicadores-para-avaliacao-da-qualidade-da-agua-no-cultivo-da-tilapia>. Acesso em: 16 de dezembro de 2020.

NOGUEIRA, G. Uso de Bioindicador para a Avaliação da Qualidade da Água no Cultivo da Tilápia. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/209040/uso-de-bioindicadores-para-avaliacao-da-qualidade-da-agua-no-cultivo-da-tilapia>. Acesso em: 16 de dezembro de 2020.

PAULA, P. **Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta na avaliação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio das Velhas (MG).** 2008. Dissertação (Pós-Graduação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2008.

PEREIRA, A. L. **Princípio da Restauração de Ambientes Aquáticos Continentais.** 2017. Dissertação – Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2017.

PIMENTA, S. et al. Estudo da qualidade da água por meio de bioindicadores bentônicos em córregos da área rural e urbana. **Ambiente e Água.** Taubaté-SP. v. 11, n. 1, p. 199-210, 2016.

PNUDM, PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. Relatório de desenvolvimento humano 2010 – A verdadeira riqueza das nações: vias para o desenvolvimento humano. Washington D.C., 2010.

QUEIROZ, J.; SILVEIRA, M.; STRIXINO, S. **Organismos Bentônicos: Biomonitoramento de Qualidade de Água**. 2008. Dissertação – Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP, 2008.

ROCHA, O. Bioindicadores. **Click Ciência**, 2011. Disponível em: http://www.clickciencia.ufscar.br/portal/edicao17/entrevista1_print.php. Acesso em: 25 de dezembro de 2020.

SANTOS, L. R.; RABELO, D. M. PRODUÇÃO CIENTÍFICA: AVALIAÇÃO, FERRAMENTAS E INDICADORES DE QUALIDADE. **FAPESP**, 2011. Disponível em: <https://fapesp.br/indicadores/boletim3.pdf>. Acesso em: 08 de dezembro de 2020.

SCHÄFFER, A. L.; MARTINS, D.; BARONI, S. **BIOMONITORAMENTO EM AMBIENTES AQUÁTICOS DE ÁGUA DOCE**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó-SC, 2018.

SIDONE, O.; HADDAD, E.; MENA-CHALCO, J. A ciência nas regiões brasileiras: evolução da produção e das redes de colaboração científica. Campinas-SP. v. 28, n. 1, p. 15-31, 2016.

SILVEIRA, M. **Aplicação do Biomonitoramento para Avaliação da Qualidade da Água em Rios**. 2004. Dissertação (Doutorado) – Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP, 2004.

SPAREMBERGUER, R. F.. **A Relação do Homem, Meio Ambiente, Desenvolvimento e o Papel do Direito Ambiental**. 2005. Dissertação (Mestrado em Direito Ambiental) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2005

TALARICCO, L. **EFEITO LETAL DOMINANTE DA RADIAÇÃO GAMA DE 60Co EM *Biomphalaria glabrata***. 2003. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2003.

TEIXERA, R. et al. **ANÁLISE DA CAPACIDADE DE BIOACUMULAÇÃO DE METAIS PESADOS POR QUATRO ESPÉCIES DE MOLUSCOS BIVALVES** 2007. Dissertação (Congresso de Ecologia do Brasil) – Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, 2007.

TORREZANI, N.; OLIVEIRA, E. **PROBLEMAS AMBIENTAIS DECORRENTES DA EXPLORAÇÃO DO CARVÃO MINERAL E A APLICAÇÃO DA ECOTOXICOLOGIA AQUÁTICA COMO FERRAMENTA DE BIOMONITORAMENTO**. 2013. Dissertação (Programa de Pós-Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina-PR, 2013.

VAZ DE MELO, F. A importância da mesa e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores. **Biologia do Solo**, 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/428233/1/aimportanciadamesoemacrofaunadosolo.pdf> Acesso em: 04 de dezembro de 2021.

VERCELLINO, I. RESPOSTAS DO PERIFÍTON AOS PULSOS DE ENRIQUECIMENTO EM NÍVEIS CRESCENTES DE FÓSFORO E NITROGÊNIO EM REPRESA TROPICAL MESOTRÓFICA (LAGO DAS NINFÉIAS, SÃO PAULO). 2007. Dissertação (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP, 2007.